

**Modalidade do trabalho:** Relatório técnico-científico  
**Evento:** XXIV Seminário de Iniciação Científica

## ENSAIO DE CÉLULAS DE CARGA<sup>1</sup>

**Elisiane Pelke Paixão<sup>2</sup>, Luis Fernando Sauthier<sup>3</sup>, Manuel Martín Pérez Reibold<sup>4</sup>.**

<sup>1</sup> Projeto de iniciação científica desenvolvido no Departamento de Ciências Exatas e Engenharia, pertencente ao Grupo de Automação Industrial e Controle

<sup>2</sup> Aluna do Curso de Engenharia Elétrica da UNIJUI, Bolsista de Iniciação Científica PROBIC/FAPERGS, elisianep251@gmail.com

<sup>3</sup> Aluno do Curso de engenharia Elétrica da UNIJUI, Bolsista PIBITI/CNPq, luisfernandosauthier@gmail.com

<sup>4</sup> Professor Dr. no Departamento de Ciências Exatas e Engenharias da UNIJUI, Orientador. manolo@unijui.edu.br

### 1. INTRODUÇÃO

Os Veículos Aéreos Não Tripulados ou VANTs são aeronaves que não necessitam de piloto para serem guiadas, portanto não oferecem risco à vida dos mesmos. A arquitetura de um Vant é composta por vários propulsores eletromecânicos, organizados de forma a realizar o voo vertical, horizontal ou pairado. Cada propulsor é constituído de hélice, motor brushless e controlador eletrônico de velocidade, e proporcionam o empuxo ou força que impulsiona a aeronave. Logo, propulsão é o processo de alterar o estado de movimento ou de repouso de um corpo em relação a um dado sistema de referência (Rodrigues, 2009). A modelagem matemática tem sido utilizada para aprimorar o desempenho destes propulsores. Entretanto para obter esse modelo matemático torna-se necessário a aquisição de dados por meio de plataformas experimentais. Neste caso a plataforma ideal é uma balança eletrônica, uma vez que esta permitirá medir o empuxo e apresenta-lo num monitor ou display.

Após análise dos diferentes princípios aplicados em balanças, se optou pela que utiliza viga em balanço. A arquitetura mostrou-se adequada à instalação do propulsor eletromecânico como ilustrado na Figura 1.



Figura 1: Plataforma experimental

A estrutura da balança é feita de ferro. Num dos extremos é colocada a célula de carga, que por sua vez sustenta o propulsor eletromecânico. A célula de carga é um transdutor eletromecânico formado por um elemento elástico e um circuito elétrico constituído por resistores variáveis, conhecido por

**Modalidade do trabalho:** Relatório técnico-científico  
**Evento:** XXIV Seminário de Iniciação Científica

Ponte Losango ou Ponte de Wheatstone. A diferença de potencial fornecida por ele corresponde ao empuxo exercido pelo propulsor na balança.

No meio acadêmico a Ponte de Wheatstone é amplamente conhecida, porém a literatura técnica é escassa quando se trata do elemento elástico. Este fato motivou focar a investigação no elemento elástico para ampliar o conhecimento da célula de carga, uma vez que é ele o dispositivo fundamental para construir a balança. Entretanto, num primeiro momento, este trabalho se propõe estudar e realizar testes na célula de carga como um todo, para posteriormente estudar cada um de seus componentes.

Portanto o propósito deste trabalho é determinar a relação entre a força aplicada à célula de carga e a diferença de potencial na saída do circuito da ponte de Wheatstone. O desenvolvimento do trabalho segue à metodologia: fundamentação teórica, projeto e realização de testes. A expectativa é validar a relação linear entre a força aplicada e a diferença de potencial produzida.

## 2. METODOLOGIA

O procedimento adotado para a realização do projeto teve início com exaustiva revisão bibliográfica sobre o desenvolvimento de balanças. Procurou investigar-se o funcionamento de cada dispositivo envolvido no processo. Assim, a seguir serão descritos os componentes do projeto, bem como os testes realizados e os resultados obtidos.

### 2.1 Célula de carga

É a estrutura eletromecânica que recebe os esforços, deformando-se dentro do regime elástico. Converte o valor da deformação em voltagem através de um circuito elétrico constituído por resistores variáveis. É considerado um transdutor, uma vez que transforma duas formas de energia para fins de medida (WERNECK,1996). Os esforços podem ser categorizados em: flexão, cisalhamento e compressão, de acordo com a deformação que se deseja medir.

A célula de carga escolhida para a construção da balança suporta massa de até 1 Kg (quilograma), pois o propulsor a ser testado não ultrapassa este empuxo. Também possui a característica de flexão, pois mede as deformações de tração e compressão em função do carregamento da viga em balanço. E é também um dispositivo insensível à esforços laterais. A célula de carga selecionada é ilustrada na Figura 2.

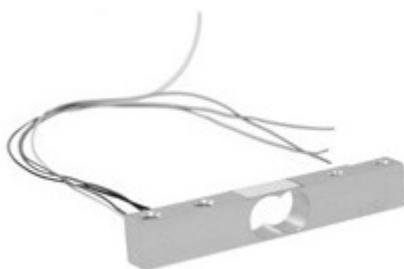


Figura 2: Célula de Carga

### 2.2 Strain Gauge

O medidor de deformação conhecido como extensômetro (strain gauge) é constituído de uma grade de fio metálico, como ilustrado na Figura 3.

**Modalidade do trabalho:** Relatório técnico-científico  
**Evento:** XXIV Seminário de Iniciação Científica

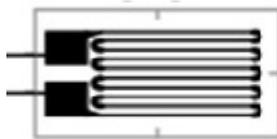


Figura 3: Strain Gauge

Estes dispositivos relacionam a deformação que acontece no elemento elástico com a resistência elétrica. São colados no elemento elástico nas regiões onde acontece a de deformação.

Quando uma força é aplicada a um material e uma deformação ocorre dentro do limite da região elástica, a lei que rege este fenômeno é a Lei de Hooke. A relação tensão-deformação é ilustrada no gráfico da Figura 4 e é definida pela equação 1.

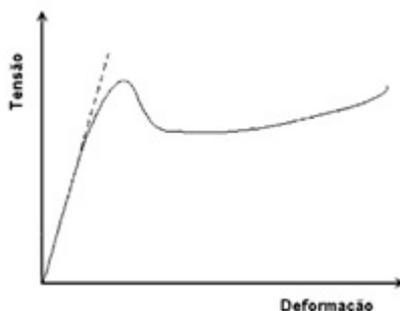


Figura 4: Curva tensão-deformação

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

Equação 1

Onde E é a constante do módulo de elasticidade do material, conhecida também como Módulo de Young, Sigma é a tensão e Epsilon é a deformação. Logo, o princípio de funcionamento do extensômetro é baseado nas propriedades dos metais, que tendem a variar sua resistência quando submetidos a esforços. A resistência elétrica é expressa pela equação 2.

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

Equação 2

Sendo Rho a resistividade do material, l o comprimento e A área de seção transversal. Através da variação da resistência é possível obter o alongamento do material. Relacionando as equações (1) e (2), obtém-se a equação que descreve a deformação suportada pela célula de carga (Equação 3).

**Modalidade do trabalho:** Relatório técnico-científico  
**Evento:** XXIV Seminário de Iniciação Científica

$$\varepsilon = \frac{\Delta R}{R} \frac{1}{K} = \frac{\sigma}{E}$$

Equação 3

Onde K é o Fator Gauge, ou constante que relacionada à sensibilidade a variação da resistência em função do comprimento do extensômetro.

### 2.3 Ponte de Wheatstone

O circuito conhecido como Ponte de wheatstone é utilizado para medir o desequilíbrio de voltagem entre dois nós. Partindo do princípio que existem quatro resistências idênticas constituindo a ponte, ela estará em equilíbrio se a diferença entre os nós for zero. Neste caso serão utilizados extensômetros, que pelas suas características construtivas, variam sua resistência quando tracionados ou comprimidos. A configuração utilizada neste estudo é ilustrada na Figura 5.

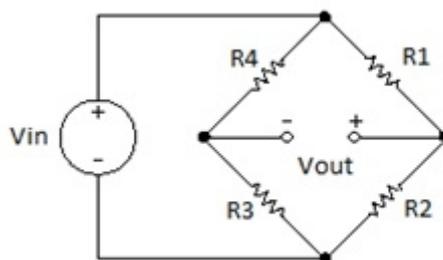


Figura 5: Ponte de Wheatstone

A ponte é denominada de ponte completa. Esta configuração oferece maior precisão nas leituras. A equação que descreve o funcionamento da ponte é descrita pela Equação 4.

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} - \frac{R_3}{R_3 + R_4}$$

Equação 4

Sendo  $V_{in}$  o a diferença de potencial elétrico que alimenta a ponte e,  $V_{out}$  a diferença de potencial elétrico que a ponte fornece ao deformar-se o elemento elástico. E  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $R_4$  os resistores da ponte. Quando os quatro resistores são extensômetros, suas resistências podem ser definidas pela Equação 5.

$$R_x = R_x \pm \Delta R_x$$

Equação 5

**Modalidade do trabalho:** Relatório técnico-científico  
**Evento:** XXIV Seminário de Iniciação Científica

Onde  $x$  representa o resistor correspondente. Substituindo as equações 3 e 5 na equação 4, pode-se reescrever a relação entre o sinal de entrada  $V_{in}$  e o sinal de saída  $V_{out}$  pela equação 6.

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{1}{4} K * \varepsilon$$

Equação 6

A equação 6 valida a relação entre a a deformação e a diferença de potencial na saída da ponte, estabelecendo que ambas são diretamente proporcionais.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este trabalho desenvolveu uma balança experimental. O objetivo desta é relacionar o valor da força aplicada à célula de carga com a diferença de potencial obtida por meio da ponte de Wheatstone. O resultado obtido foi a relação entre as massas, a voltagem e a deformação da célula de carga. A balança permitiu obter os valores de deformação da célula de carga e a voltagem correspondentes.

Antes de realizar as medidas investigou-se na literatura o comportamento da relação entre a força e a deformação e entre a deformação e a diferença de potencial da saída da ponte de Wheatstone. Sabendo que este comportamento deve ser linear os testes foram realizados utilizando massas colocadas gradativamente em intervalo de 50 gramas. Optou-se por esse valor por acreditar ser uma diferença que trará valores precisos à medição e pela facilidade de manuseio. As massas são demonstradas na Figura 6.



Figura 6: Massas

Para realização das medições as massas foram colocadas gradualmente em uma das extremidades da célula de carga. A partir deste processo foram construídas tabelas com os dados associando a massa à deformação, e a massa à diferença de potencial. Estes dados estão descritos na tabela 1.

**Modalidade do trabalho:** Relatório técnico-científico  
**Evento:** XXIV Seminário de Iniciação Científica

MASSA (Kg)	DEFORMAÇÃO (uε)	TENSÃO (mV)
0	0	551
0,05	41	668
0,1	89	783
0,15	133	897
0,2	178	1014
0,25	222	1130
0,3	269	1247
0,35	311	1361
0,4	355	1477
0,45	399	1592
0,5	442	1699
0,55	488	1816
0,6	532	1932
0,65	574	2046
0,7	618	2162
0,75	662	2276
0,8	708	2392
0,85	754	2508
0,9	799	2632
0,95	842	2748
1	886	2865

tabela 1 - Leitura de dados

A partir dos dados obtidos nos testes, a relação do desempenho da balança é mostrado na ilustração 7.

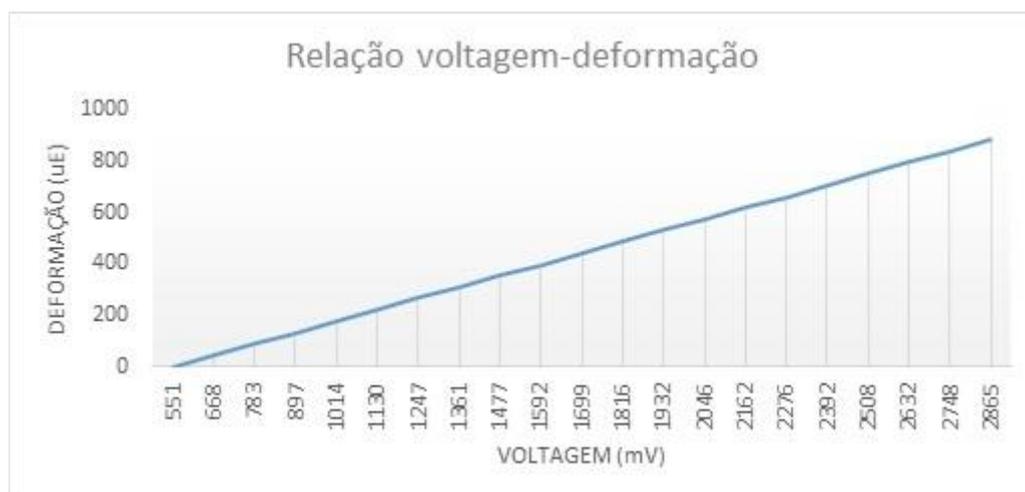


Figura 7: Relação voltagem-deformação

**Modalidade do trabalho:** Relatório técnico-científico

**Evento:** XXIV Seminário de Iniciação Científica

Interpretando as informações no gráfico é possível identificar que existe uma voltagem residual no circuito antes de uma deformação ser provocada. Isso se deve à tolerância dos dispositivos resistivos. É possível confirmar a expectativa de obter linearidade entre as variáveis, em virtude do comportamento linear demonstrado no gráfico da Figura 7.

#### 4. CONCLUSÃO

A evolução deste trabalho obedeceu a duas etapas: a primeira constituiu a investigação do comportamento da célula de carga, projeto e desenvolvimento da plataforma de teste. A segunda etapa contemplou os ensaios realizados para validar a funcionalidade da plataforma. Os resultados obtidos mostraram-se satisfatórios, confirmando a expectativa de obter uma relação linear entre as variáveis. Há o entendimento que o comportamento do strain gauge e da ponte de Wheatstone possuem o devido reconhecimento. No entanto, uma nova investigação é necessária para investigar o comportamento do elemento elástico quando possui diferentes formas geométricas.

5. Palavras-chave: Elemento elástico; Strain Gauge; Ponte de Wheatstone

#### 6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPERGS as bolsas concedidas para a execução do trabalho investigativo, à UNIJUÍ e ao GAIC (Grupo de Automação Industrial e Controle).

#### 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Rodrigues, L. E. M. (2009) Fundamentos da Engenharia Aeronáutica – Aplicações ao Projeto AS E-AeroDesign. Princípios Fundamentais, Aerodinâmica, Propulsão e Análise de Desempenho. 1a ed rev. – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, São Paulo.

Werneck, M M. (1996) Transdutores e Interfaces. Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ. LTC - Livros Técnicos Científicos S.A.